

Observații Spectrale, Polarimetrice, și Modelări Analitice ale
Coroanei Solare:

I Geyseri Coronali
II Inversii de câmp magnetic coronal

A. R. Paraschiv

National Solar Observatory, AURA, USA
Monash University, School of Mathematical Sciences, Australia

AIRA Seminar, Aprilie 2021

I Geyseri Coronali

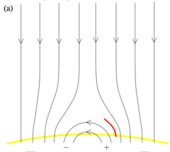
- Ia. Morfologia jeturilor recurente din regiuni active
- Ib. Proprietăți termale și supra-termale ale Geyserelelor
- Ic. Geyseri coronali și izbucniri radio de tip III
- Id. Manifestări magnetice ale jeturilor coronale

II Inversii de câmp magnetic coronal

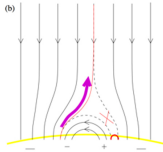
Ia. Morfologia jeturilor recurente din regiuni active

Nomenclatura Jeturilor Solare

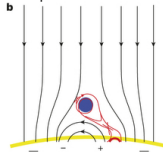
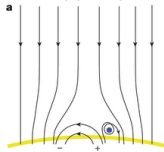
Standard Jet eruption



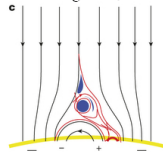
Moore et. al, 2010



Blowout / (micro) Filament eruption



Sterling et. al, 2015



CANFIELD ET AL. 1996

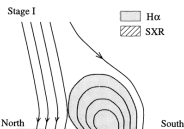


FIG. 10e

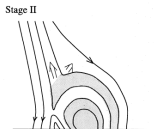


FIG. 10b

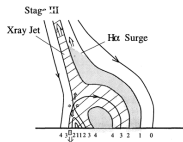


FIG. 10c

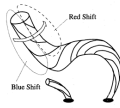
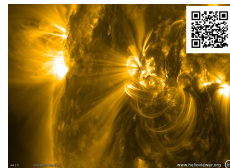


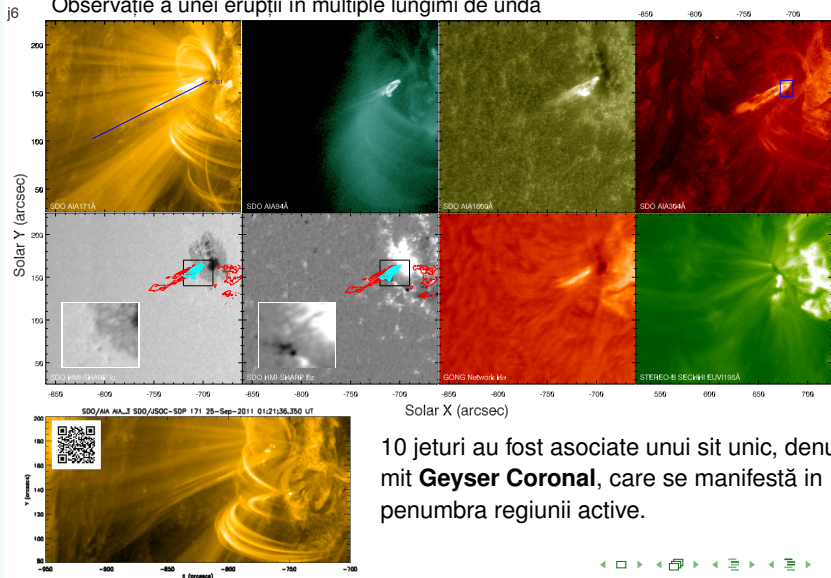
FIG. 10f

- Jeturi Polare vs. regiuni active (AR).
- Jeturi Standard și Blowout.
- Jeturi recurente și similare (homologous).
- Erupții de (micro)filamente?



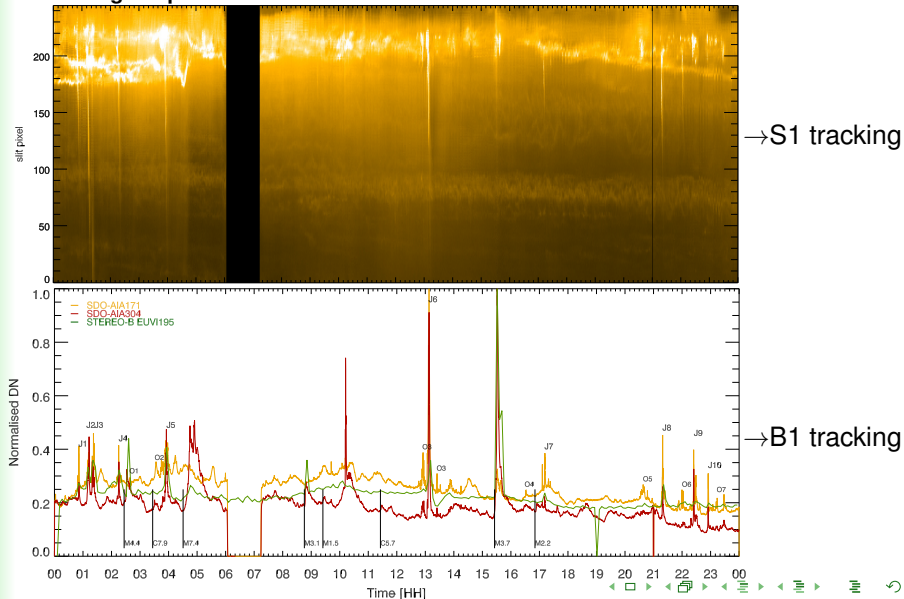
Jeturi din periferia AR11302

Observație a unei erupții în multiple lungimi de undă

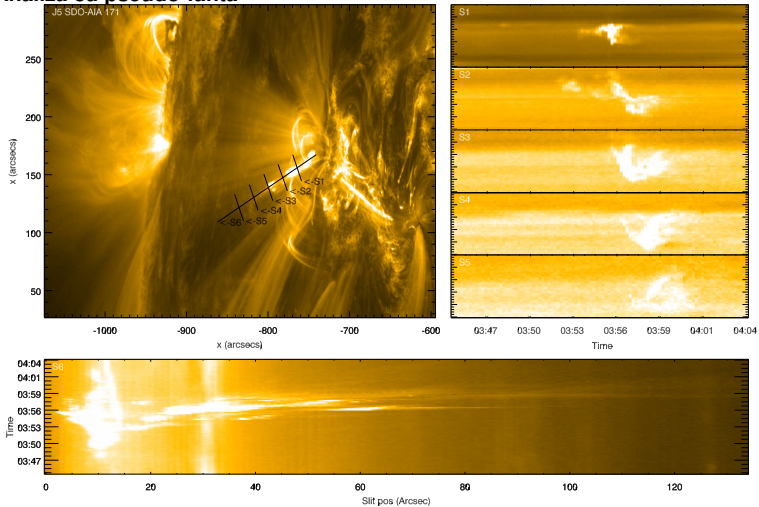


10 jeturi au fost asociate unui sit unic, denumit **Geyser Coronal**, care se manifestă în penumbra regiunii active.

Tracking temporal



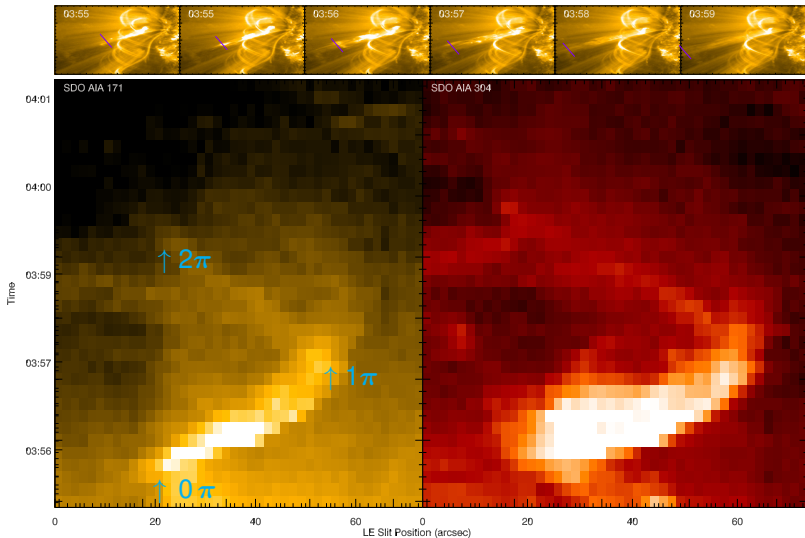
Analiză cu pseudo-fantă



No.	Time [hh : mm UT]	AIA filter	Width [km]	Length [km]	Proj. Speed [km s ⁻¹]
J5	03:55 UT	171 304	2616 3052	28700 28069	251 231

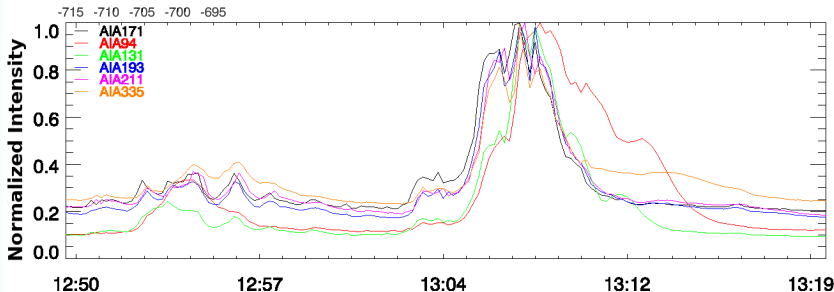
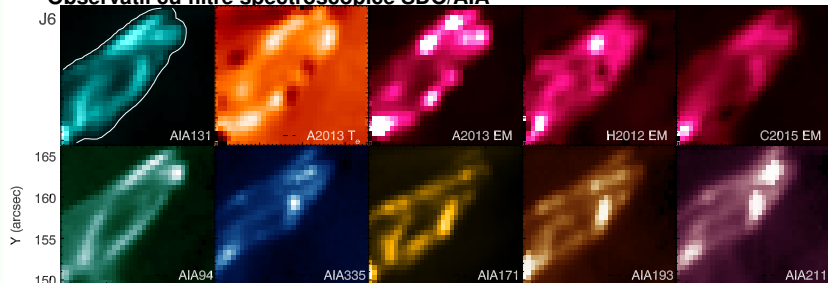
I Geyseri Coronali
II Inversii de câmp magnetic coronal

Ia. Morfologia jeturilor recurente din regiuni active
Ib. Proprietăți termale și supra-termale ale Geyserelelor
Ic. Geyseri coronali și izbucniri radio de tip III
Id. Manifestări magnetice ale jeturilor coronale



Ib. Proprietăți termale și supra-termale ale jeturilor și ale Geysereilor

Observatii cu filtre spectroscopice SDO/AIA



Măsura emisiei diferențiale a plasmei:

$$I_{fil} = F_{fil}(T_e) \cdot \int n_e^2 dl = F_{fil}(T_e) \cdot \int DEM(T_e) dT_e \quad [DN \cdot s^{-1} \cdot pixel^{-1}]$$

- Rații de intensitate ale filtrelor:

$$(I_{loop} - I_{cor})_{fil1} = F_{fil1}(T_e) \cdot l \cdot (n_{e-loop}^2 + 2 \cdot n_{e-loop} \cdot n_{e-cor})$$

$$(I_{loop} - I_{cor})_{fil2} = F_{fil2}(T_e) \cdot l \cdot (n_{e-loop}^2 + 2 \cdot n_{e-loop} \cdot n_{e-cor})$$

(Mariska & Withbroe, 1978; for jets: Pucci et al, 2013; Paraschiv et. al, 2015, etc.)

- Inversii cu minimizare χ^2 :

$$\chi^2 = \frac{(I_{fil} - F_{fil} \cdot DEM(T_e))^2}{\sigma_I^2} \rightarrow \min \quad \text{where: } \begin{matrix} fil \in [1,6] \\ \log(T_e) \in [5.7, 7.35] \end{matrix}$$

(Aschwanden, 2013; A2013)

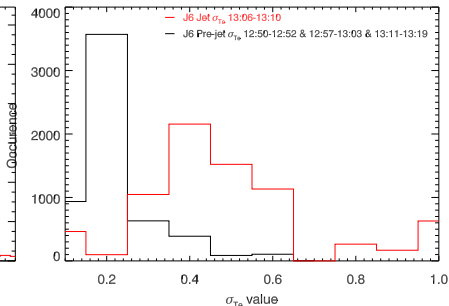
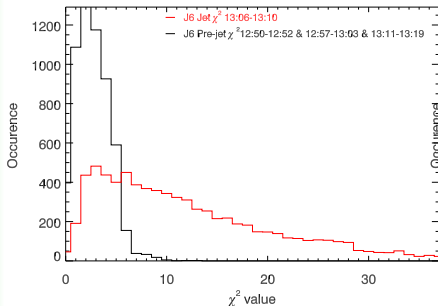
$$\chi^2 = \frac{(I_{fil} - F_{fil} \cdot DEM(T_e))^2}{\sigma_I^2} + \lambda(L \cdot (DEM(T_e) - DEM_0(T_e)))^2 \rightarrow \min$$

(Hannah & Kontar, 2012; H2012)

- Inversii cu matrici sparse:

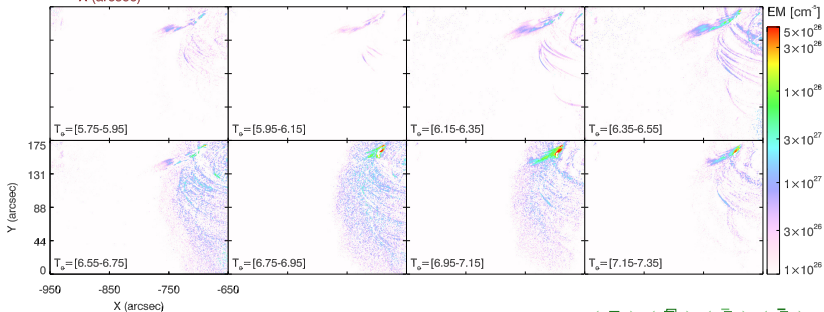
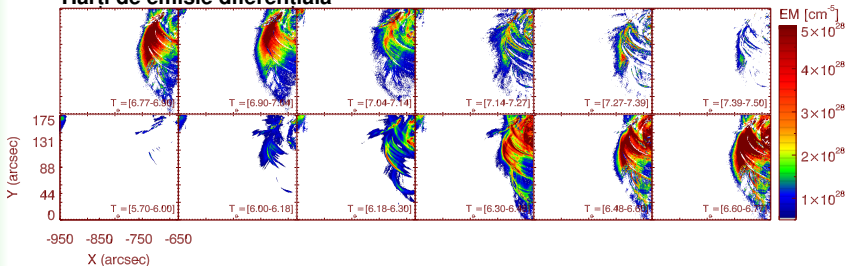
$$y_i = D_{ij}x_j \quad \sum_{j=1}^n x_j \rightarrow \min \quad \text{where: } \begin{matrix} D_{ij}x_j \leq y_i + \sigma_i \\ D_{ij}x_j \geq y_i - \sigma_i \\ x_j \geq 0 \end{matrix}$$

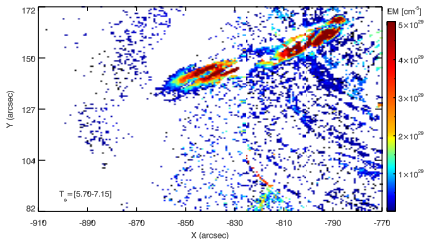
(Cheung et. al, 2015; C2015)



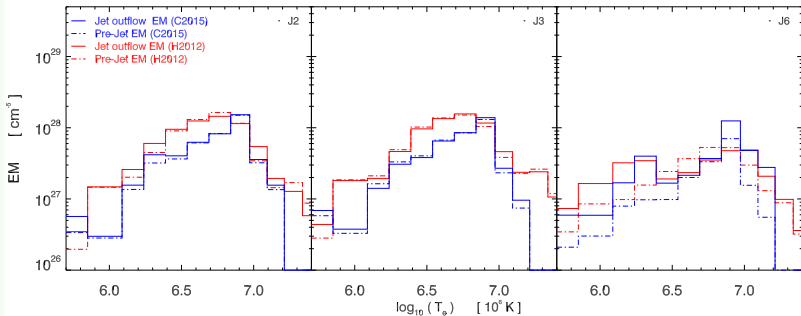
- Analiza noastră a arătat că incertitudinile nu sunt neglijabile când discutăm despre material eruptiv.
- Determinările sunt constrânse atunci când $\chi^2 < 4$. Noi am atins o astfel de metrică doar zone de calm și/sau găuri coronale.
- Inversiiile de tip χ^2 s-au dovedit a nu fi foarte credibile în cazul observațiilor noastre.
- Există diferențe semnificative între rezultatele obținute cu C2015 față de H2012.
- **Cunoaște-ți datele!**

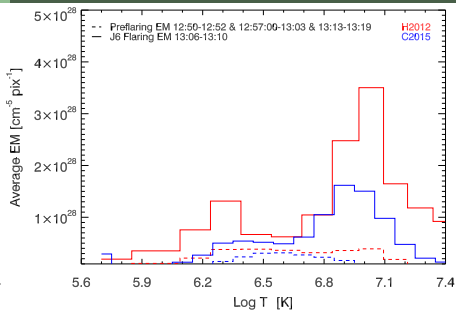
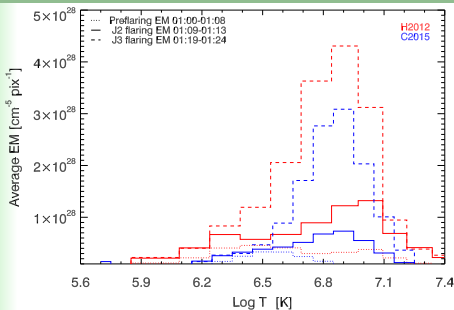
Hărți de emisie diferențială





Hărțile de temperatură și densitate ne relevă eluzivele componente multi-termale ale jeturilor.





$$F_{kin} = \frac{1}{2} \cdot n_e \cdot m_H \cdot v^3; \quad F_{pot} = n_e \cdot m_H \cdot g \cdot H \cdot v; \quad F_{th} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot n_e \cdot k_B \cdot T_e \cdot v;$$

$$F = F_{kin} + F_{pot} + F_{th}$$

J2 → $F_{kin} = 2.14 \cdot 10^8$ $F_{pot} = 1.23 \cdot 10^8$ $F_{th} = 4.82 \cdot 10^8$ → $F \approx 8 \cdot 10^8$.

J3 → $F_{kin} = 0.60 \cdot 10^8$ $F_{pot} = 0.99 \cdot 10^8$ $F_{th} = 5.37 \cdot 10^8$ → $F \approx 7 \cdot 10^8$.

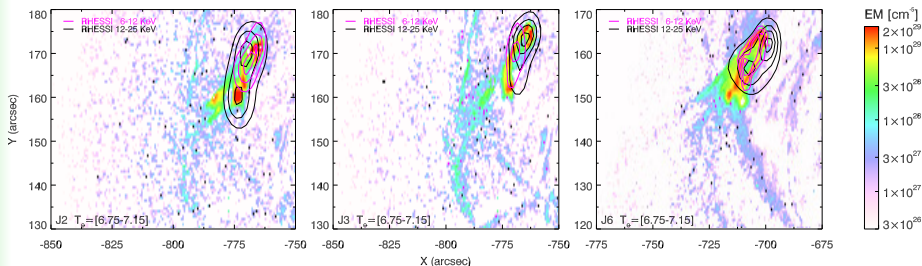
J6 → $F_{kin} = 2.13 \cdot 10^8$ $F_{pot} = 0.83 \cdot 10^8$ $F_{th} = 3.28 \cdot 10^8$ → $F \approx 7 \cdot 10^8$.

Paraschiv et. al, 2015 → $F_{kin} = 0.01 \cdot 10^8$ $F_{pot} = 0.01 \cdot 10^8$ $F_{th} = 0.07 \cdot 10^8$ → $F \approx 0.1 \cdot 10^8$.

Pucci et. al, 2013 → $F_{kin} = 0.30 \cdot 10^8$ $F_{pot} = 0.03 \cdot 10^8$ $F_{th} = 0.17 \cdot 10^8$ → $F \approx 0.5 \cdot 10^8$.

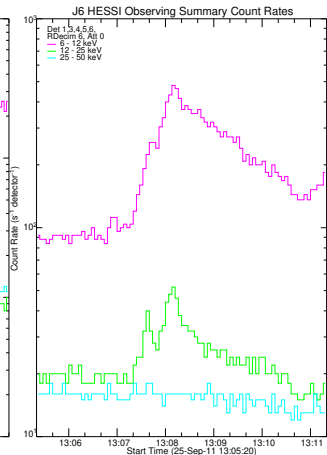
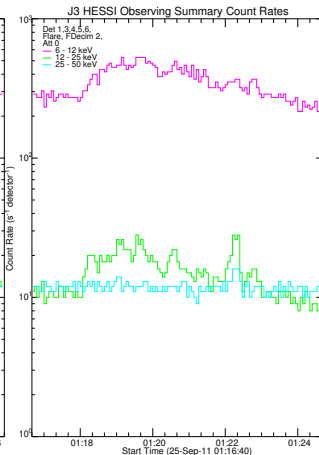
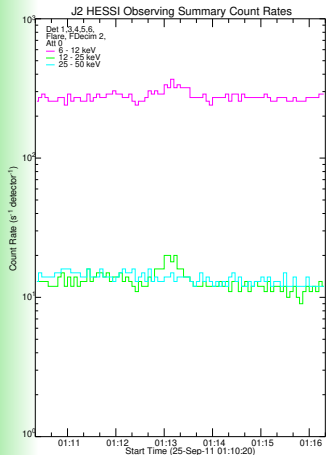
• Pierderile coronale sunt $\sim 10^7 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Withbroe & Noyes, 1977).

Analiză a emisiei în raze X

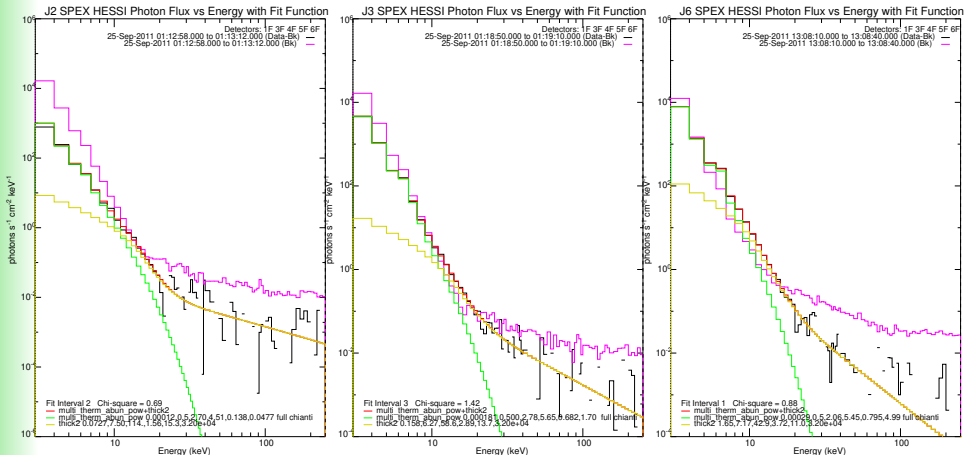


- Reconstrucția sursei de raze X cu RHESSI a evidențiat surse de raze x distincte dure (Hard) și moi (Soft).
- Putem deduce astfel existența emisiei supra-termale?

Diagramă flux-timp în raze X pentru J2, J3, și J6



Analiză spectrală în raze X pentru J2, J3, și J6



- Emisie supraternală este prezentă, cel mai probabil fascicule de electroni de energie înaltă ce bombardează straturile inferioare ale atmosferei solare.

Modelul de emisie termală cu funcție de putere (power law distribution):

$$J2 \rightarrow RHESSI \ n_e = 0.04 \ 10^{11} \ cm^{-3} \leftrightarrow EUV \ n_e = 0.02 \ 10^{11} \ cm^{-3}$$

$$J3 \rightarrow RHESSI \ n_e = 0.04 \ 10^{11} \ cm^{-3} \leftrightarrow EUV \ n_e = 0.05 \ 10^{11} \ cm^{-3} \quad \text{both measurements at } \log T_e = 7.35$$

$$J6 \rightarrow RHESSI \ n_e = 0.06 \ 10^{11} \ cm^{-3} \leftrightarrow EUV \ n_e = 0.06 \ 10^{11} \ cm^{-3}$$

- Energiile termale totale disipate E_{th} sunt în ordinul a:
 - J2=2.5 10^{27} erg, J3=3.4 10^{27} erg, and J6=3.9 10^{27} erg.
 - Statistici de microflares RHESSI: $E_{th} \sim 10^{26} - 10^{30}$ erg (Hannah et. al, 2008).
 - Observații de microflares NUSTARR: $E_{th} = 9 \ 10^{27}$ erg (Wright et. al, 2017).
- Geysarul este energetic compatibil cu microflares impulsive.

Modelul emisiei supra-termale (Thick-target Bremsstrahlung):

$$J2 \rightarrow \delta \sim 7.50 \quad E_c \sim 15.3 \text{ KeV} \quad F_e = 0.07 \quad \rightarrow \quad P_N = 2.10 \cdot 10^{26} \text{ erg s}^{-1}.$$

$$J3 \rightarrow \delta \sim 6.27 \quad E_c \sim 13.7 \text{ KeV} \quad F_e = 0.16 \quad \rightarrow \quad P_N = 4.32 \cdot 10^{26} \text{ erg s}^{-1}.$$

$$J6 \rightarrow \delta \sim 7.17 \quad E_c \sim 11.0 \text{ KeV} \quad F_e = 1.65 \quad \rightarrow \quad P_N = 3.46 \cdot 10^{27} \text{ erg s}^{-1}.$$

$$\text{Hannah et. al, 2008} \rightarrow \delta \sim 4 - 10 \quad E_c \sim 9 - 16 \text{ KeV} \quad \rightarrow \quad P_N \sim 10^{25} - 10^{28} \text{ erg s}^{-1}.$$

$$\text{Inglis et al. 2014} \rightarrow \quad E_c \sim 9 - 14 \text{ KeV} \quad \rightarrow \quad P_N \sim 10^{25} - 10^{26} \text{ erg s}^{-1}.$$

$$\text{Wright et. al, 2017} \rightarrow \delta > 7 \quad E_c = 7 \text{ KeV} \quad \rightarrow \quad P_N \sim 10^{25} - 10^{26} \text{ erg s}^{-1}.$$

$$\text{Testa et. al, 2014} \rightarrow \quad E_c = 10 \text{ KeV} \quad \rightarrow \quad P_N \sim 10^{24} \text{ erg s}^{-1}.$$

- Modelele thick-target fitează datele numai în timpul maximului erupției.
- Observațiile noastre nu pot discerne dacă evaporarea cromosferică este procesul dominant ce duce la termalizare.
- Geysorul apare a fi compatibil și cu componenta supra-termală a emisiei unui microflare.

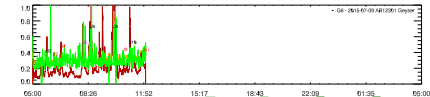
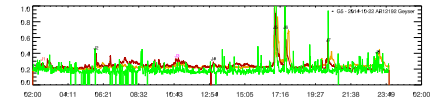
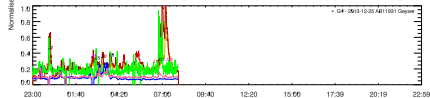
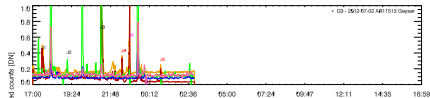
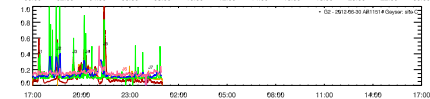
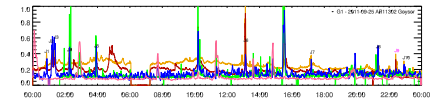
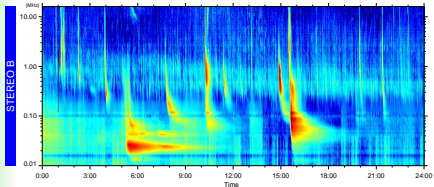
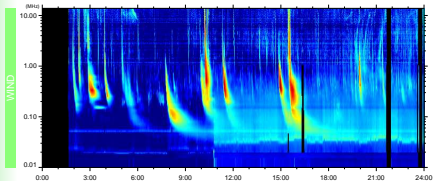
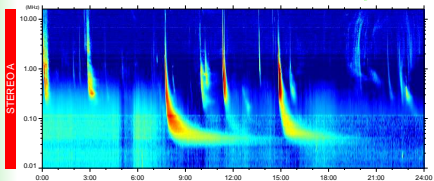
Detalii în Paraschiv, Donea, & Judge 2021 (in prep. valabil la cerere)

Ic. Geyseri Coronali și izbucniri radio de tip III

Identificare de izbucniri radio de tip III

Radio Dynamic Spectra 2011-09-25

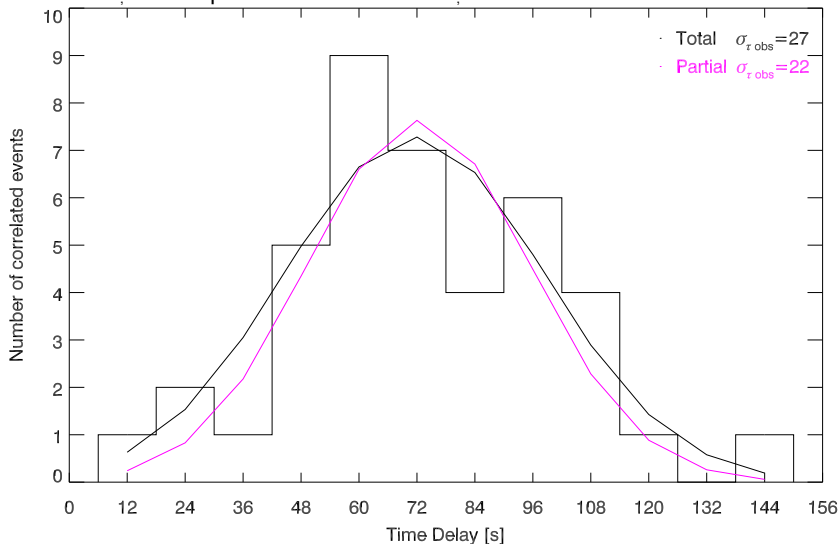
stereo/earth separation(deg) a: 104.0, b: 96.8



Geysers Dataset	No. Jets	Type-III Radio Bursts		Correlated (1.) Events SNR	Study Reference
		1.	2.		
G1 AR11302 25.09.2011T00:00-23:59	10	S-B: 9(+1)/10 W: 5(+1)/7	S-A: 0/10	$9/10 > 3\sigma$ $2\sigma < 1/10 < 3\sigma$	Our work Paraschiv & Donea 2019
G2 AR11514 30.06.2012T17:00-01:00	7 site C	W: 6/7	S-B+S-A: 0/7	$5/7 > 3\sigma$ $2\sigma < 1/7 < 3\sigma$	Sterling et. al, 2016
G3 AR11513 02.07.2012T17:00-03:00	6	W: 3(+1)/6 S-A: 3/6	S-B: 0/6	$4/6 > 3\sigma$	Chen et. al, 2015
G4 AR11931 25.12.2013T23:00-08:00	10/12	W: 5(+2)/10	S-B+S-A: 0/10	$2/10 > 3\sigma$ $2\sigma < 6/10 < 3\sigma$	Hu et. al, 2016
G5 AR12192 22.10.2014T02:00-00:00	8	W: 6(+1)/8	x	$5/8 > 3\sigma$ $2\sigma < 2/8 < 3\sigma$	Panasar et. al, 2016
G6 AR12301 09.07.2015T05:00-12:00	9/11	W: 6(+1)/9	x	$5/9 > 3\sigma$ $2\sigma < 2/9 < 3\sigma$	Liu et. al, 2016

- Am realizat o asociere corelativă între jeturi și izbucniri (pozitivă și negativă) folosind seturi de date din literatură.
- 50 de jeturi au fost analizate. 41 jeturi (35+ 6 erupții incerte) sunt asociate și corelate cu izbucniri de tip III.
- Rata medie de drift pentru izbucniri între 16MHz→3MHz: $\Delta t = 78 \pm 60$ s.
- Este asta tot ce se poate realiza?

Diferența de timp între SDO AIA-171Å și canalul radio de 3MHz al SWAVES



• $\tau_{Obs} = 72 \pm 33 \text{ s}$

Modelare analitică a timpului de parcurgere.

Urmărim Mann et. al, 1999

Ecuția de continuitate:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} = 0 \quad \Rightarrow \quad r^2 \cdot n(r) \cdot v(r) = C$$

Ecuția de moment cinetic:

$$\rho \cdot \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \right] = -\nabla p + \mathbf{J} \times \mathbf{B} = -\nabla p + \frac{1}{\mu_0} \mathbf{B} \times (\nabla \times \mathbf{B}) + G$$

Legea lui Faraday:

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\nabla \times \mathbf{E} = \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

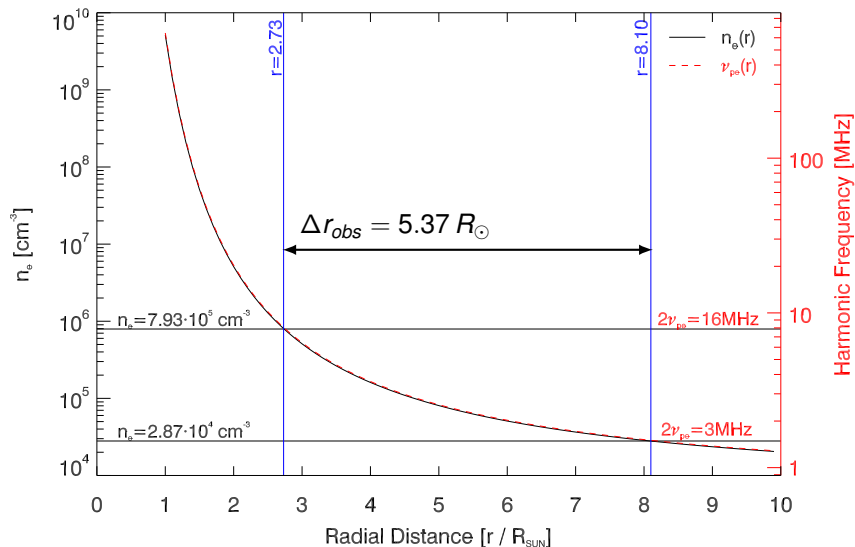
→ Spiralele de vânt solar ale lui Parker: $\frac{v(r)^2}{v_c^2} - \ln\left(\frac{v(r)^2}{v_c^2}\right) = 4 \ln\left(\frac{r}{r_c}\right) + 4 \cdot \frac{r_c}{r} - 3$

Presupunând $v \ll v_c$ obținem o formulă barometrică a densității: $n_e(r) = n_s \cdot e^{\frac{A}{R_\odot} \cdot \left(\frac{R_\odot}{r} - 1\right)}$

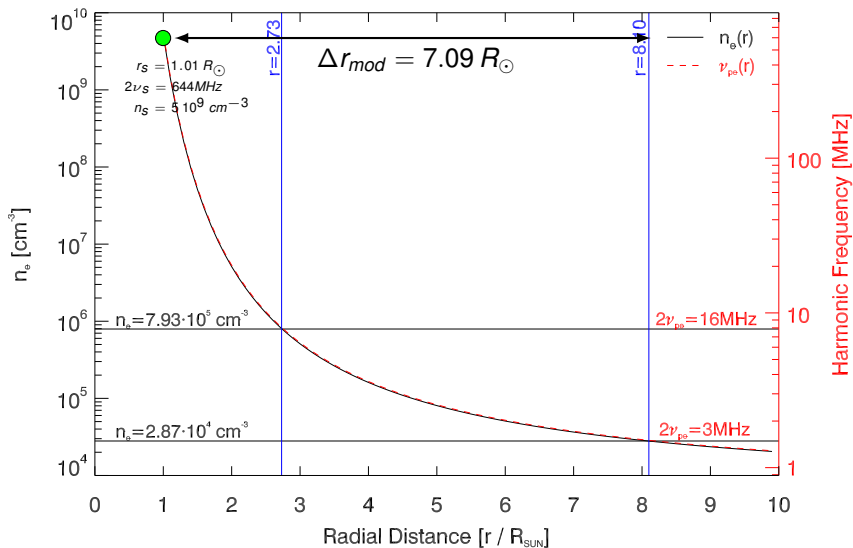
Frecvența armonică de oscilație pentru izbucniri de tip III se relaționează de densitate prin:

$$\nu_{pe} = \sqrt{\frac{e^2 \cdot n_e}{\pi \cdot m_e}}$$

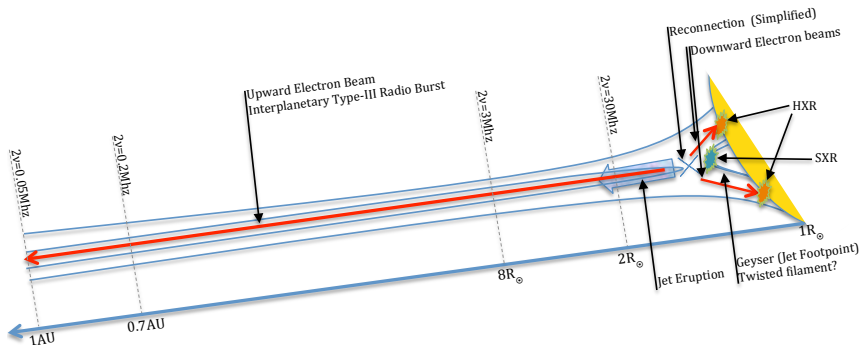
$$\rightarrow \nu_{pe}(r) = \nu_s \cdot e^{\frac{A}{2R_\odot} \cdot \left(\frac{R_\odot}{r} - 1\right)}$$



- Un fascicul de electroni semi relativistic $v/c = 0.16 \pm 0.06$



• $T_{mod} \sim 90 \text{ s}$

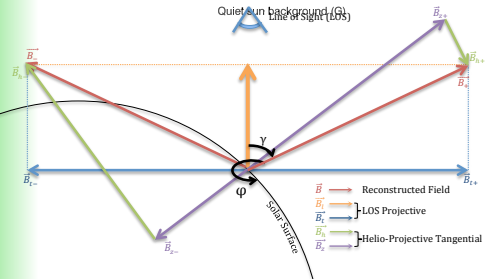
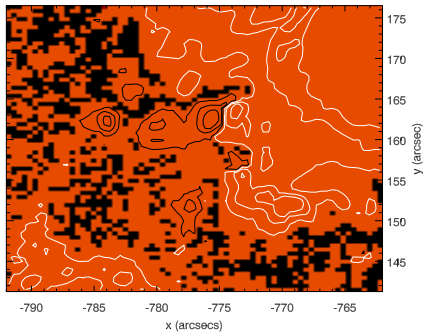
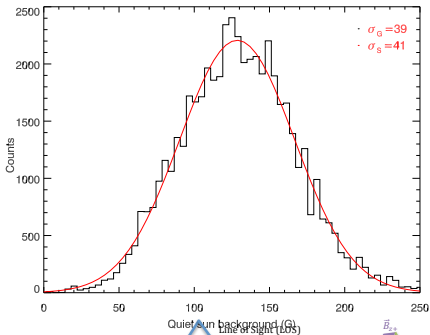


- Acest tip de modelare se poate folosi pentru a determina sursele noilor fenomene switch-back descoperite in-situ de PSP.

Detalii în Paraschiv & Donea, 2019, ApJ.

Id. Manifestări magnetice ale jeturilor coronale

Prepararea magnetogramelor vectoriale

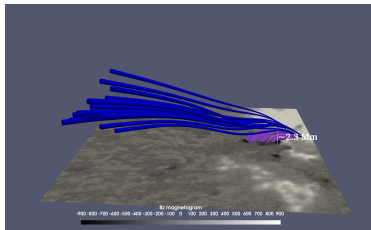
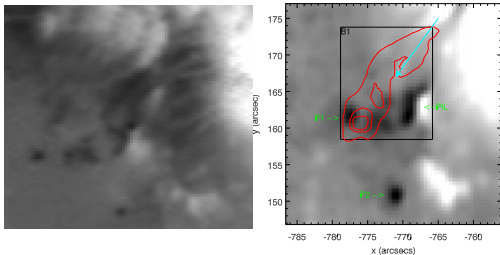


- Magnetograme LOS sunt nepotrivite pentru o astfel de analiză.
- De-proiecție sferică (Gary and Hagyard, 1990).
- Dizambiguare a polarității (Leka et. al, 2009).

Analiza și cuantificarea magnetogramelor sunt asemenea deschiderii unei cutii cu viermi.

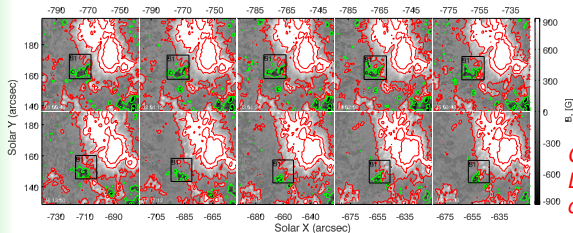
I Geyseri Coronali
II Inversii de câmp magnetic coronal

- Ia. Morfologia jeturilor coronale active
Ib. Proprietăți termale și supra-termale ale Geysereilor
Ic. Geyseri coronali și izbuclniri radio de tip III
Id. Manifestări magnetice ale jeturilor coronale



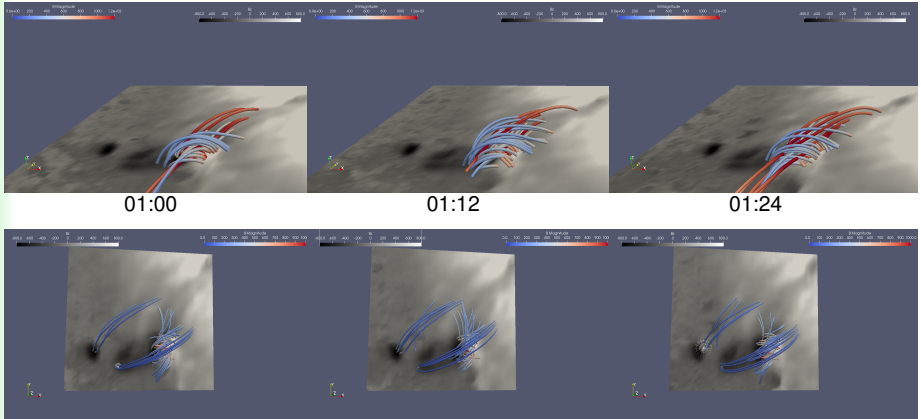
- Mlaștină penumbrală.
- Regiuni de străpungere a fluxului (flux-emergence).
- Fluxuri magnetice mișcătoare (MMFs).

- Pori.
- Interfață de inversie a polarității (PIL).
- Câmpuri de boltă (canopy fields).



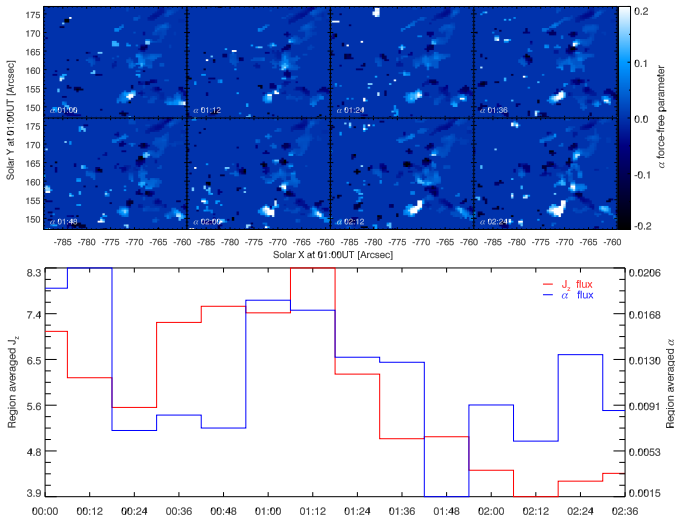
Corolar: A nu se folosi magnetograme LOS la mai mult de $\pm 100-150''$ față de centrul discului.





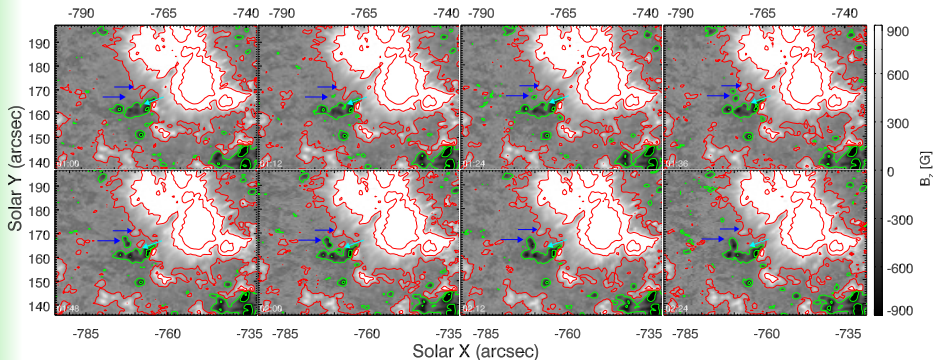
- Structuri torsionate la înălțimi joase există în extrapolări liniare libere de forță.
- Extrapolările nu reprezintă realitatea fizică atunci când discutăm magnetismul solar.



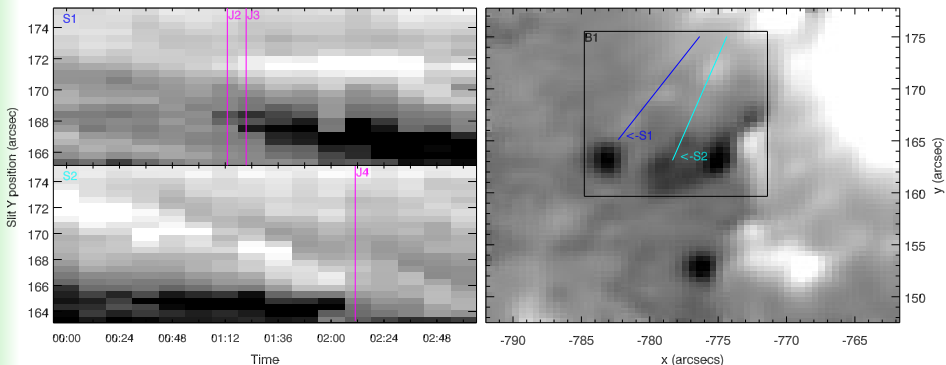


- Un mecanism de tip stocare \rightarrow eliberare a energiei s-a dovedit neconcluziv in cazul nostru din cauza incertitudinii din derivarea câmpurilor verticale.

Declanșarea fotosferică a jeturilor



- Jeturile individuale sunt corelate cu fluxuri magnetice unice și distincte!



- Ambele scenarii propuse de literatură pentru declanșarea jeturilor au fost observate acționând concomitent pentru a genera setul nostru de erupții.

Detalii în Paraschiv, Leka & Donea, 2020, ApJ.



	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10
EUV time [HH:MM]	00:49	01:13	01:19	02:11	03:52	13:04	17:06	21:19	22:24	22:55
HMI time [HH:MM]	00:48	01:12-01:24		02:00-02:12	03:48	13:00	17:00	21:12	22:24-22:48	
Flux emergence		x	x		x			u	x	x
Flux cancellation	x			x		x	u			
B_z strength [G]	361 ± 75	378 ± 76 -321 ± 75		535 ± 79	348 ± 76 -291 ± 39	333 ± 60	161 ± 58	645 ± 69 -277 ± 63	408 ± 53 -339 ± 56	
MMF speed [km/s]	0.4			0.6		0.5	0.5			

- Din cauza cadenței de date nu am putut evalua dacă străpunerile de flux au fost cauza sau efectul jeturilor.
- 3 (+1 incert) evenimente au fost asociate cu fenomenul de anulare de flux.
- 4 (+1 incert) evenimente au fost asociate cu străpunerile de flux.

Geyseri Coronali: mici situri din penumbra regiunilor active ce persistă pentru multiple zile, au o conexiune cu coroana și sunt generatoare prolifică de jeturi solare. Stabilim că geyserele sunt surse de particule supra-termale, izbucniri radio, și calculăm că din punct de vedere energetic acestea sunt surse de microflares impulsive, pot conține structuri filamentare, și pot conserva helicitatea solară. Jeturile din geysere pot fi declanșate prin multiple scenarii de erupție, notabile fiind anularea și străpungerea de flux magnetic.

I Geyseri Coronali

2 II Inversii de câmp magnetic coronal

- Baze conceptuale și motivație
- Spectroscopie și cuantificarea zgomotului
- Schema de inversie
- Degenerări, Degenerări, Degenerări, Degenerări...

Definiții:

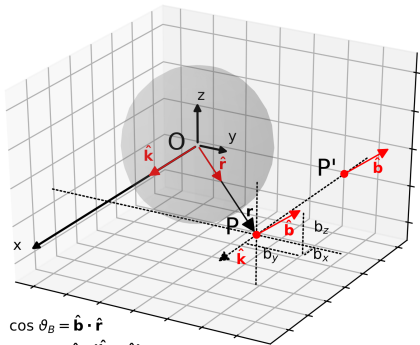
- Alinierea atomică este dată de anizotropia câmpului incident de radiație.
- Un câmp magnetic alterează alinierea atomică.
- Efectul Zeeman într-o aproximație de câmp puternic.

• Direcțiile sunt:

X - De-a lungul direcției de vizare. (nu va fi reprezentată în majoritatea proiecțiilor 2D)

Y - Orizontal; Direcția E-V

Z - Vertical; Direcția N-S

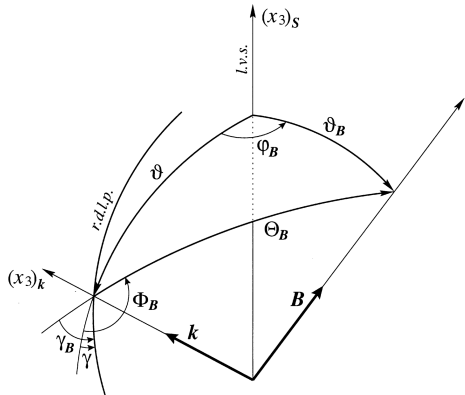


$$\cos \theta_B = \hat{\mathbf{b}} \cdot \hat{\mathbf{r}}$$

$$\cos \varphi = \hat{\mathbf{x}} \cdot (\hat{\mathbf{b}} \times \hat{\mathbf{z}})$$

$$\cos \theta_B = \hat{\mathbf{k}} \cdot \hat{\mathbf{b}}$$

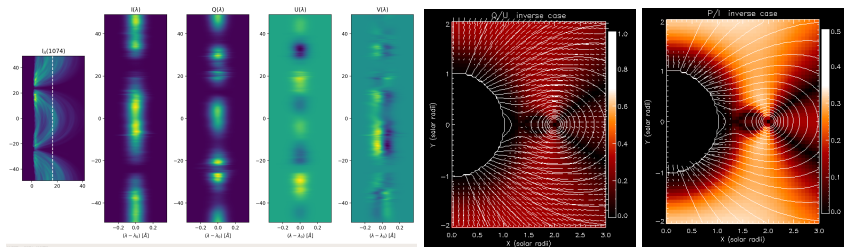
$$\cos \theta = \hat{\mathbf{k}} \cdot \hat{\mathbf{r}}$$



adaptat din: Casini & Judge 1999, ApJ
Judge, Cassini, & Paraschiv, 2021, ApJ

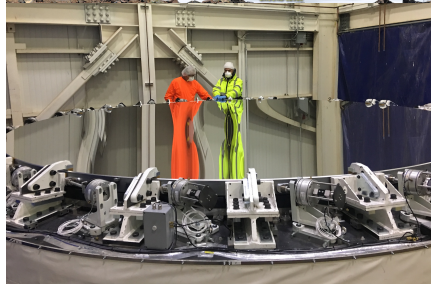
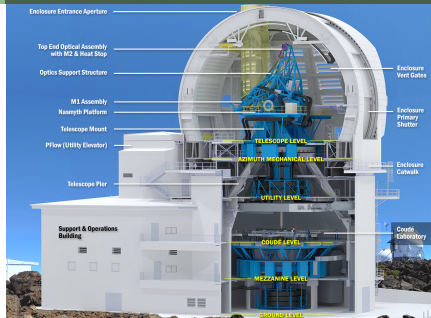
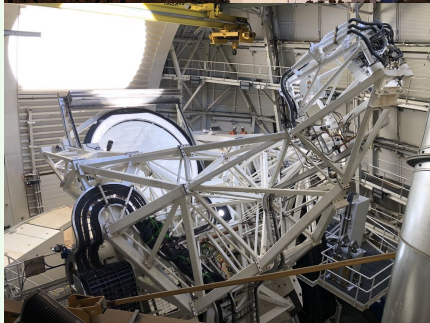
Aplicații ale inversiilor coronale

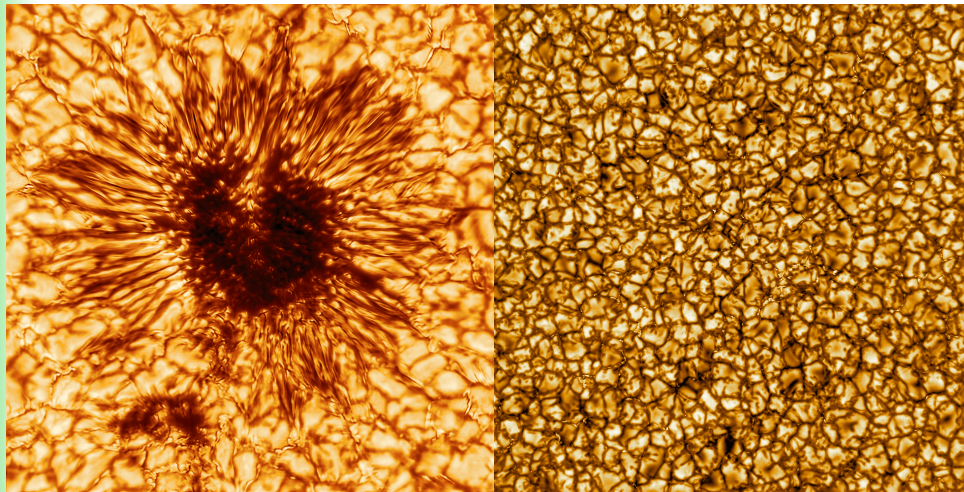
- Natura undelor și propagarea undelor în coroană.
- Turbulență și accelerarea vântului solar lent in coroana joasă.
- Diagnostic pentru structuri deasupra limbului. Există bucle magnetice?
- CMEs, Studiul structurilor pre și post eruptive.
- Studii teoretice asupra polarizării liniilor coronale.



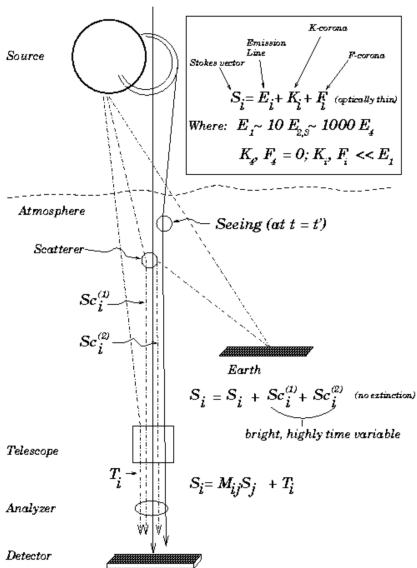
Data courtesy of T. Schad; M. Rempel; and P. Judge.

Telescopul DKIST





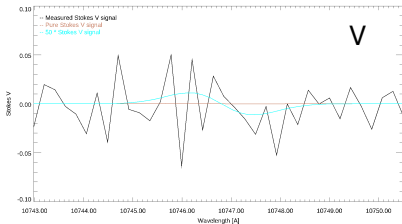
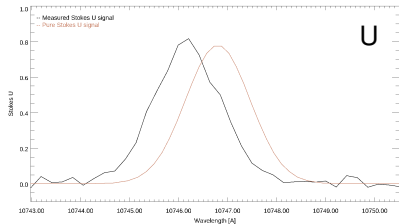
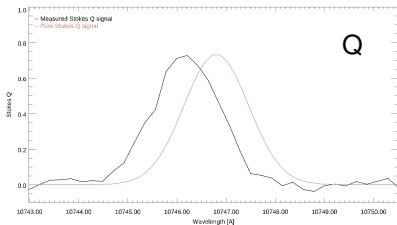
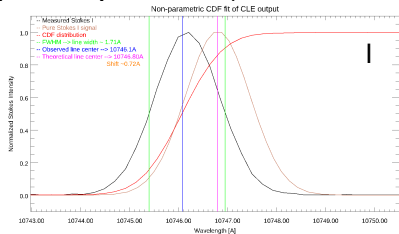
Surse de incertitudine



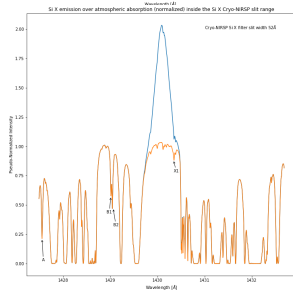
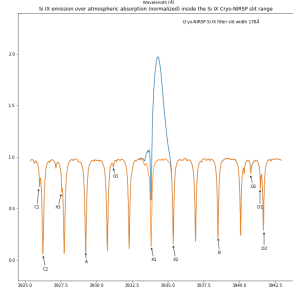
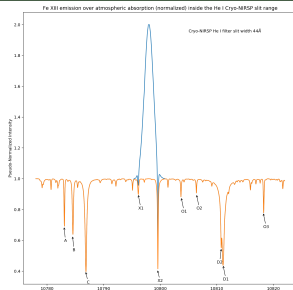
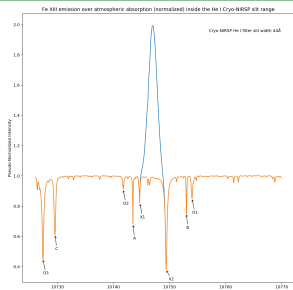
Adapted Seagraves & Elmore, 1994, SPIE



Spectroscopie în infraroșu la 1000-5000 nm



- Ioni: Fe XIII 1074.7nm, 1079.8nm, Si X 1430.1nm, Si IX 3934.3nm.
- Emisia probabil nu va fi constrânsă corect prin fitare cu Gaussiene.
- Stokes V nu este de regulă recuperabil.

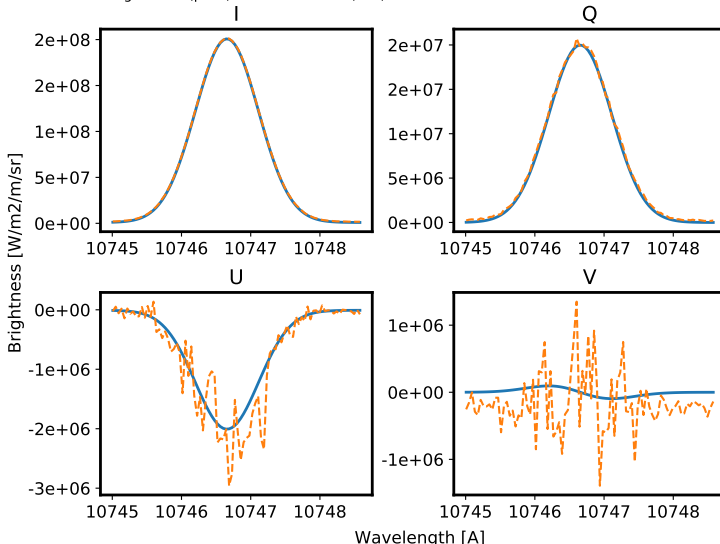


Cor. Line	Wave.	ID	cal. Line	Wave.	Rel. I	Comment
Fe XIII	1074.7nm	O3	Si I	1072.74nm	0.44	Very Strong line; too close to slit margin
		C	C I	1072.95nm	0.60	Strong absorption line
		O2	[?]	1074.17nm	0.91	very weak line. No candidate in NIST.
		A	[?]	1074.35nm	0.68	Strong absorption. Not in NIST
		X1	Fe I	1074.46nm	0.82	weak line
		-	-	-	-	unusable due to blend with cor. Fe XIII line
		X2	Si I	1074.94nm	0.38	strong line
		-	-	-	-	unusable due to blend with cor. Fe XIII line
		B	Fe I	1075.30nm	0.75	Not very prominent but might be usable
		O1	C I	1075.40nm	0.85	weak line; possible blend issue
Fe XIII	1079.8nm	A	Fe II	1078.30nm	0.69	Strong absorption line
		B	Si I	1078.45nm	0.63	Strong absorption line
		C	Si I	1078.68nm	0.39	Very strong line
		X1	[?]	1079.61nm	0.89	weak line. Not in NIST
		-	-	-	-	unusable due to blend with cor. Fe XIII line
		X2	[?]	1079.95nm	0.41	strong line. Not in NIST
		-	-	-	-	unusable due to blend with cor. Fe XIII line
		O1	Fe II [?]	1080.36nm	0.88	Weak line; (Hard to identify, possibly Fe II)
		O2	Ne I	1080.63nm	0.91	very weak line
		D2	[?]	1081.08nm	0.56	Strong absorption 2-line set; Not in NIST
D1	Mg I	1081.11nm	0.43	Strong absorption 2-line set; treat as pair		
O3	Fe I	1081.83nm	0.77	strong-ish line; close to slit end		
Si X	1430.1nm	A	Fe I	1427.5nm	0.21	Separable line in tough range; needs specialized fitting procedure
		B1	Fe II [?]	1429.03nm	0.47	Pair of close lines, fit together
		B2	Ti II [?]	1429.05nm	0.57	NIST determinations uncertain; Needs custom fitting.
		X1	Fe I	141430.30nm	-	not usable due to overlap
Si IX	3934.3nm	C1	[?]	3926.02nm	0.71	not in NIST; couple with N ₂ O band.
		C2	N ₂ O	3926.26nm	0.06	Molecular absorption for C1
		X3	[?]	3928.66nm	0.67	Not usable due to proximity to molecular band
		A	N ₂ O	3929.25nm	0.08	Molecular absorption band;
		O1	[?]	3931.17nm	0.90	Very weak; not in NIST or BASS2000
		X1	N ₂ O	3933.83nm	0.13	absorption band; not usable due to overlap
		X2	N ₂ O	3935.38nm	0.15	absorption band; not usable due to overlap
		B	N ₂ O	3938.50nm	0.22	Molecular absorption band
		O2	[?]	3940.80nm	0.84	weak line. not in NIST
		D1	[?]	3941.47nm	0.69	not in NIST; couple with N ₂ O band.
D2	N ₂ O	3941.66nm	0.29	Molecular absorption for D1		

Cuantificarea zgomotului

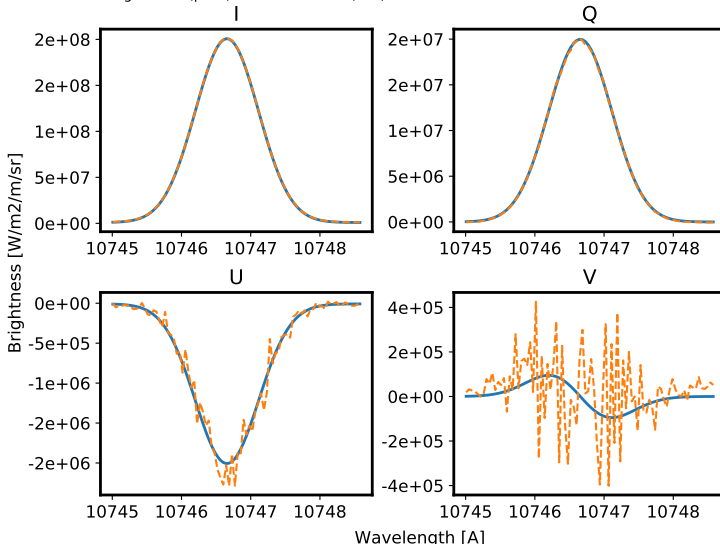
Integration time: 1 seconds

Integrated V (pure): 3.41×10^7 and V(obs) 3.02×10^8



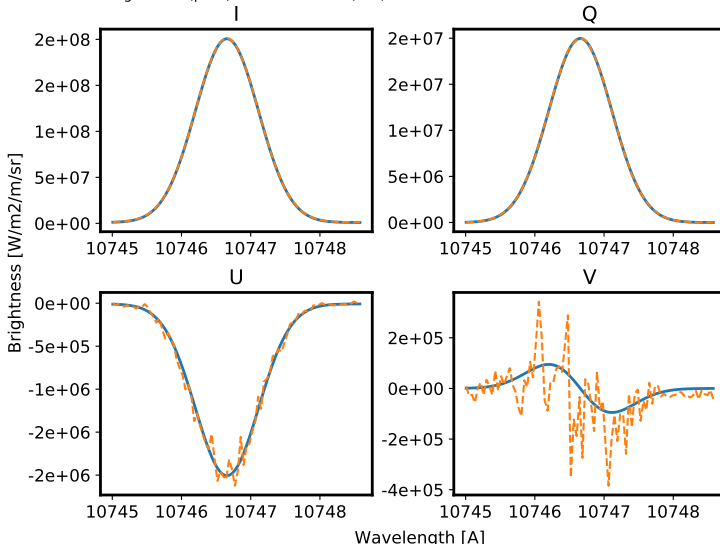
Cuantificarea zgomotului

Integration time: 5 seconds
Integrated V (pure): 3.41×10^7 and V(obs) 9.64×10^7



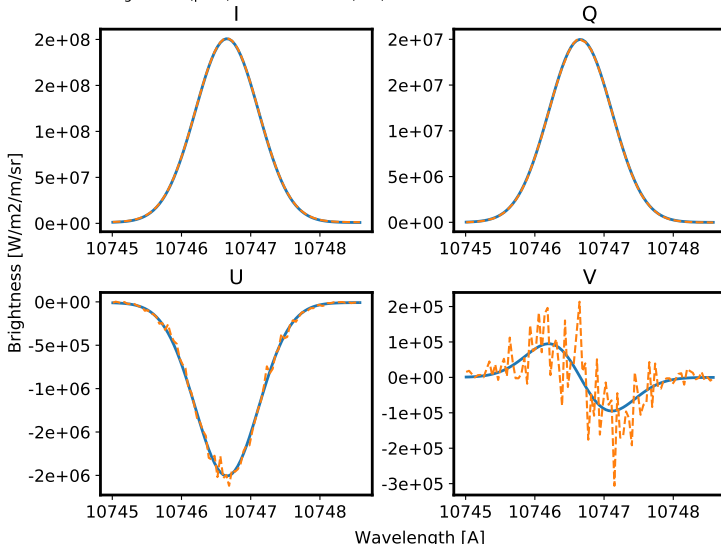
Cuantificarea zgomotului

Integration time: 15 seconds
Integrated V (pure): 3.41×10^7 and V(obs) 6.61×10^7



Cuantificarea zgomotului

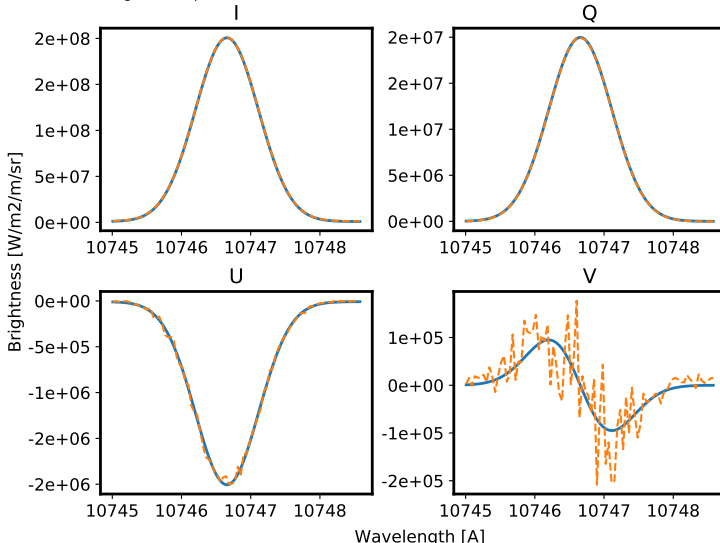
Integration time: 30 seconds
Integrated V (pure): 3.41×10^7 and V(obs) 4.99×10^7



Cuantificarea zgomotului

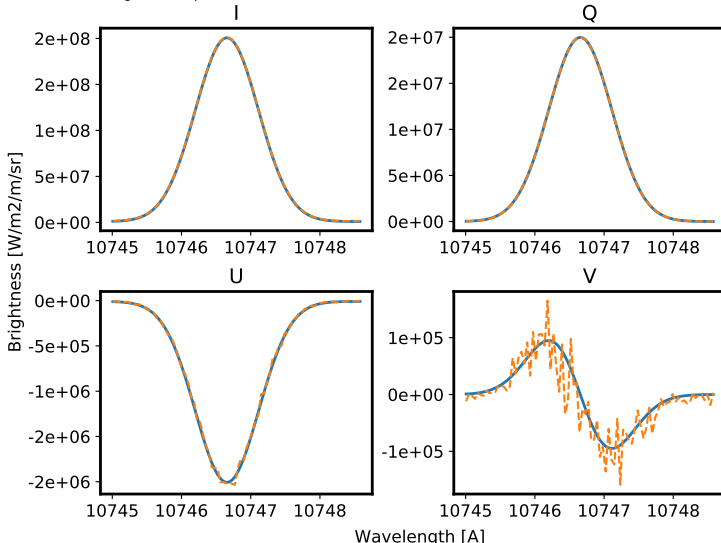
Integration time: 60 seconds

Integrated V (pure): $3.41e+07$ and V(obs) $4.44e+07$



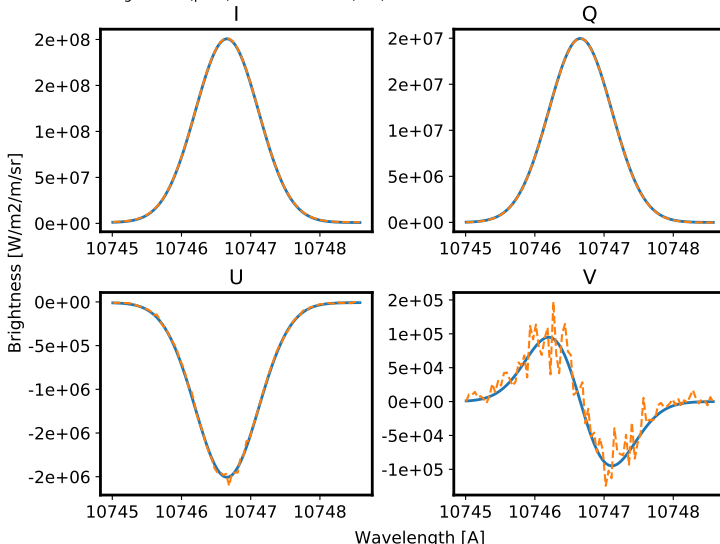
Cuantificarea zgomotului

Integration time: 120 seconds
Integrated V (pure): 3.41×10^7 and V(obs) 3.73×10^7



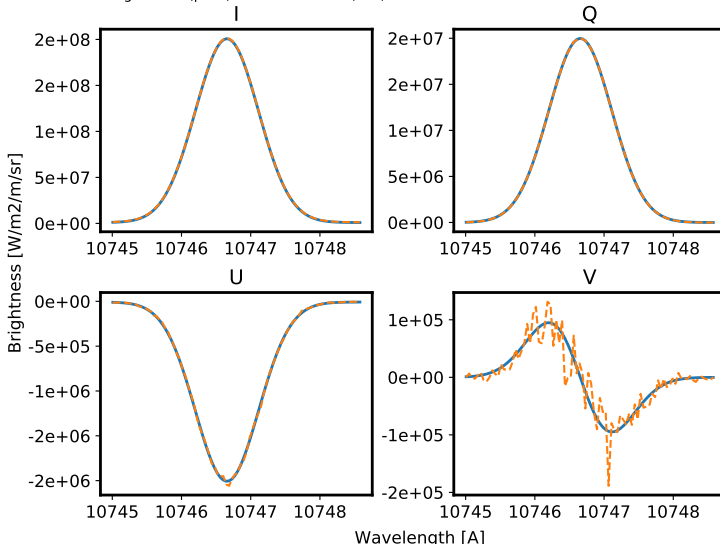
Cuantificarea zgomotului

Integration time: 180 seconds
Integrated V (pure): 3.41×10^7 and V(obs) 3.47×10^7

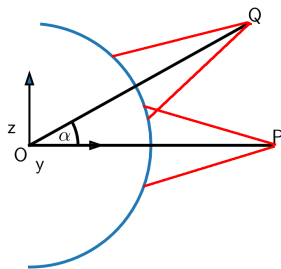


Cuantificarea zgomotului

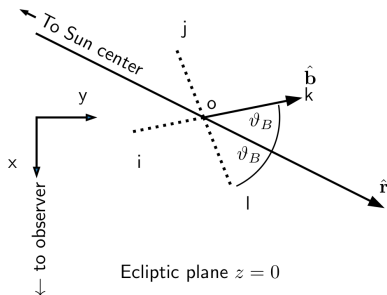
Integration time: 300 seconds
Integrated V (pure): 3.41×10^7 and V(obs) 3.31×10^7



Geometrie, simetrii, degenerări



Plane of the sky $x = 0$



Ecliptic plane $z = 0$

- Soluțiile de aliniament atomic σ_0^2 depind doar de distanța față de limb.
- Condițiile din punctele Q și P sunt echivalente in termeni de σ_0^2 .
- Deci profilele Stokes IQUV la Q pot fi rotite către P . După ce căutam soluția în baza de date, observația poate fi de-rotită cu $-\alpha$.

Vezi Casini & Judge (1999), ApJ, și Judge, Casini, & Paraschiv (2021), ApJ.

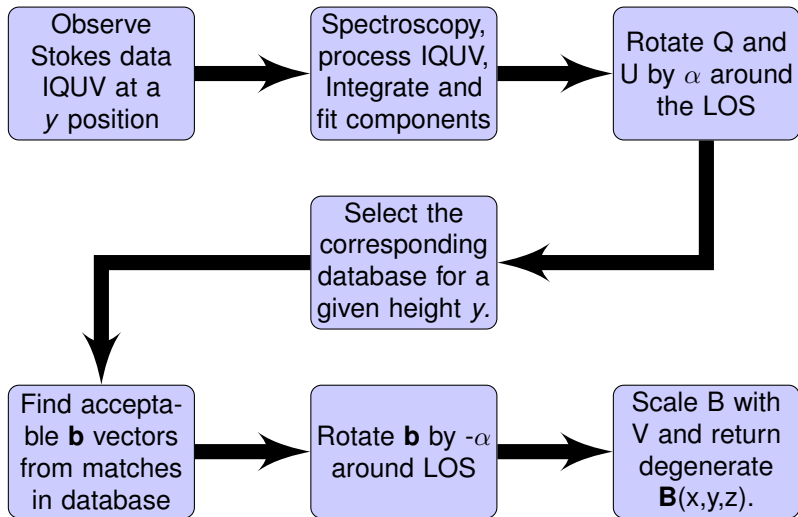
O bază de date de calcule atomice pentru polarizare

- O bază de date pentru profile Stokes IQUV este calculată folosind CLE-DB pentru toate punctele $\mathbf{r} = (x, y, z)^T$ în lungul direcției radiale(y).
- In teorie ar trebui rezolvat un spațiu de parametri constând în:
 $x, y, z, T_e, n_e, \mathcal{A}, B, \theta_B, \chi_B, v_x, v_T$.
- Putem reduce calculele la doar:
 x, n_e, θ_B (via ϑ & φ).
- Configurație CLE-DB: Numărul total de calcule pentru 81 de poziții radiale y
 $N_C = n_x \cdot n_{n_e} \cdot n_\varphi \cdot n_{\vartheta} = 7.9 \times 10^8$

quantity	number	range
n_e (electron density in cm^{-3})	$n_{n_e} = 10$	[200.0 100 50.0 15.0 5.0 2.5 1.0 0.5 0.1 0.01] $n_0(r)$
y-axis (radial, units R_\odot)	$n_y = 81$	1.0 \rightarrow 1.256
x-axis (LOS, units R_\odot)	$n_x = 60$	-1.5 \rightarrow 1.5
φ (azimuth in $z = 0$ plane)	$n_\varphi = 180$	0 \rightarrow 2π
ϑ (polar angle from +ve z-axis)	$n_{\vartheta} = 90$	0 \rightarrow π

CLE și **CLE-DB** sunt singurele coduri disponibile pentru transfer radiativ și sinteză spectrală pentru linii spectrale de emisie de tip dipol magnetic M1. Versiunea curentă se poate obține la cerere contactându-mă.

Algoritmul inversiei



Produse pentru comunitatea DKIST

1. Calibrări și spectroscopie:

Stokes IQUV calibrate în intensitate absolută și Doppler.

Dispersia totală a liniei.

Dispersia supra-termală a liniei.

Gradul de polarizare totală.

Gradul de polarizare liniară. $\frac{L}{I} = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I}$

2. Determinări de câmp magnetic:

A. Observații cu o linie. → Câmpul magnetic LOS (Integrat de-a lungul liniei de vizare)

Câmpul magnetic LOS: $B_{LOS} = |B| \cos(\Theta_B)$ (Determinat analitic, vezi Plowman 2014, ApJ)

Unghiul de azimut magnetic: $\chi_B = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{U}{Q} \right)$

B. Observații cu 2 linii → Câmpuri magnetice vectoriale 3D (în plus față de punctul A).

Puterea câmpului magnetic $|B|$.

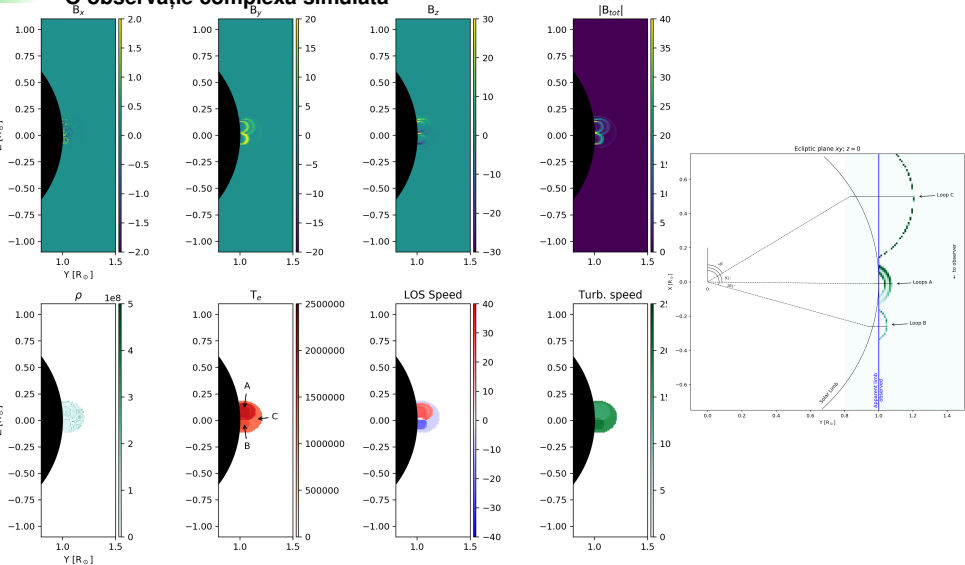
Unghiul magnetic LOS (Θ_B)

Poziția în spațiu 3D a structurii dominante.

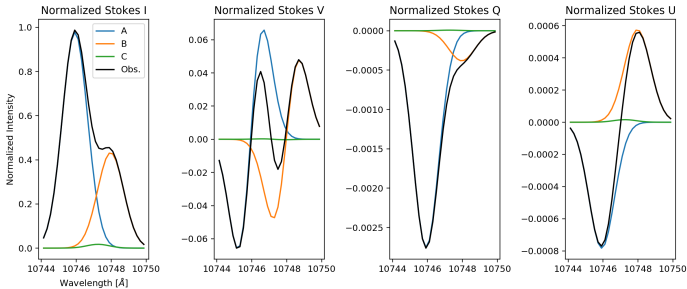
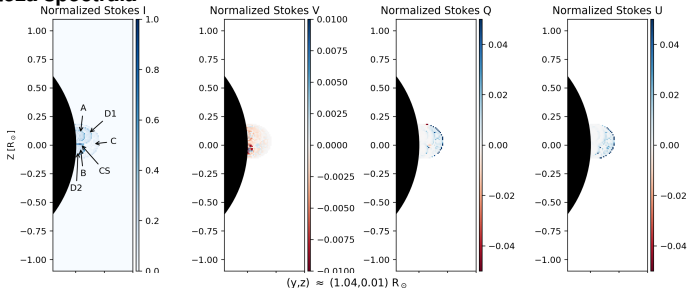
Densitatea locală a plasmei (n_e)

- Direcția lui \mathbf{B} provine din fitul cu baza de date prin φ, ϑ . $\cos \theta_B = \sin \vartheta \cos \varphi$.
- Puterea câmpului magnetic $B = |\mathbf{B}|$ provine din rația dintre V_{obs}^* / V_{db}^* , unde $|B_{db}^*| = 1$ G.
- $|\mathbf{B}|$ împreună cu θ_B and χ_B pot fi transformați apoi într-o formă carteziană, e.g. B_x, B_y, B_z .

O observație complexă simulată



Sinteza spectrală



$\Theta_{LOS} = 91$

0	C	chi2	Ne	y	x	phi	theta	B	POS AZ	LOS THETA
0	4341719	+1.16e-01	+7.82	+1.21	-0.10	+2.00	+58.00	+1.00	+82.48	+114.40
0	4422571	+1.16e-01	+7.82	+1.21	+0.10	+358.00	+122.00	+1.00	-175.36	+60.41
0	4438919	+1.16e-01	+7.78	+1.21	+0.20	+2.00	+58.00	+1.00	+82.48	+114.40
0	4325371	+1.16e-01	+7.78	+1.21	-0.20	+358.00	+122.00	+1.00	-175.36	+60.41
0	4422719	+1.16e-01	+7.81	+1.21	+0.15	+2.00	+58.00	+1.00	+82.48	+114.40
0	4341571	+1.16e-01	+7.81	+1.21	-0.15	+358.00	+122.00	+1.00	-175.36	+60.41

$\Theta_{LOS} = 59$

0	C	chi2	Ne	y	x	phi	theta	B	POS AZ	LOS THETA
0	5540520	+1.16e-01	+7.45	+1.08	+0.60	+2.00	+60.00	+1.00	-163.77	+82.71
0	5167770	+1.16e-01	+7.45	+1.08	-0.60	+358.00	+120.00	+1.00	-5.75	+54.91
0	5216370	+1.16e-01	+7.66	+1.08	-0.45	+358.00	+120.00	+1.00	-5.75	+54.91
0	5491920	+1.16e-01	+7.66	+1.08	+0.45	+2.00	+60.00	+1.00	-163.77	+82.71
0	5508120	+1.16e-01	+7.59	+1.08	+0.50	+2.00	+60.00	+1.00	-163.77	+82.71
0	5200170	+1.16e-01	+7.59	+1.08	-0.50	+358.00	+120.00	+1.00	-5.75	+54.91

$\Theta_{LOS} = 105$

0	C	chi2	Ne	y	x	phi	theta	B	POS AZ	LOS THETA
0	5167769	+1.17e-01	+7.56	+1.04	-0.60	+358.00	+118.00	+1.00	+36.22	+166.44
0	5540521	+1.17e-01	+7.56	+1.04	+0.60	+2.00	+62.00	+1.00	-44.94	+72.08
0	5475571	+1.17e-01	+7.92	+1.04	+0.35	+358.00	+122.00	+1.00	-175.36	+60.41
0	5232719	+1.17e-01	+7.92	+1.04	-0.35	+2.00	+58.00	+1.00	+82.48	+114.40

Degenerarea Dima & Schad, 2019

- Dima & Schad, 2019, ApJ oferă o soluție aparent mai puțin complexă la problema noastră, bazată pe o determinare pur analitică, unde sunt necesare observații a 2 linii.

- Aceștia au descoperit că în cazul în care factorii Lande g_J a două linii sunt identici, atunci nu se poate obține o soluție ca de exemplu:

$$\begin{aligned} \text{Fe XIII } & 3P_1 \rightarrow 3P_0, \lambda = 1.0747\mu \quad g_J = 1.5 \\ \text{Fe XIII } & 3P_2 \rightarrow 3P_1, \lambda = 1.0789\mu \quad g_J = 1.5 \end{aligned} \quad \text{Unde } g_J \simeq \frac{3}{2} + \frac{S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}, \text{ for } J \neq 0.$$

- Autorii au sugerat folosirea:

$$\text{Si X } 2P_{3/2}^o \rightarrow 2P_{1/2}^o, \lambda = 1.430\mu, \quad g_J = 0.66$$

- Totodată, soluția lor era ambiguă la 90° , iar noi așteptăm o ambiguitate la 180° .

- După multiple iterații, implicând calcule relativiste pentru g_J , și rezolvarea de multiple ori a geometriei, etc. **am descoperit că discutăm despre lucruri diferite.**

- Am învățat că:

- Aproximarea LS este pe departe de a fi perfectă.

- Soluția analitică nu are acces la anizotropia atomului, iar Θ_B rebuie calculat prin:

$$\sin^2 \Theta_B \approx \frac{2}{3} \frac{\epsilon l_1 v_1}{v_1 \frac{1}{2} \bar{g}_2 \lambda_2 - v_2 \bar{g}_1 \lambda_1}$$

- Folosirea liniilor din același ion reduce nevoia de a calcula \mathcal{A} .

- GEOMETRIA CONTEAZĂ!

Concluzii și planuri pentru viitor

- Estimările ale locației 3D și ale densităților structurilor dominante sunt importante!
- Putem combina multiple linii din atomi diferiți?
- Putem discerne dacă linii diferite emit din regiuni diferite de-a lungul liniei de vizare?
- Producerea magnetogramelor coronale va necesita o disambiguizare a polarității recuperate prin baza de date.

Observațiile spectroscopice în plasmă transparentă sunt asemenea cu a privi soarele prin ochelari de cal.

Vă Mulțumesc!

Contact: arparaschiv@nso.edu

Oameni fără de care astăzi nu aş fi aici (alfabetic):

Alessandro Bemporad

Paul Cally

Doina Călugăru

Alina Donea

Diana Ionescu

Phil Judge

K.D Leka

Daniela Lăcătuș

Charlie Lindsey

Marilena Mierlă

Elena Moise

Georgeta Muntean(Mariș)

Ilia Roussev

Kevin Reardon

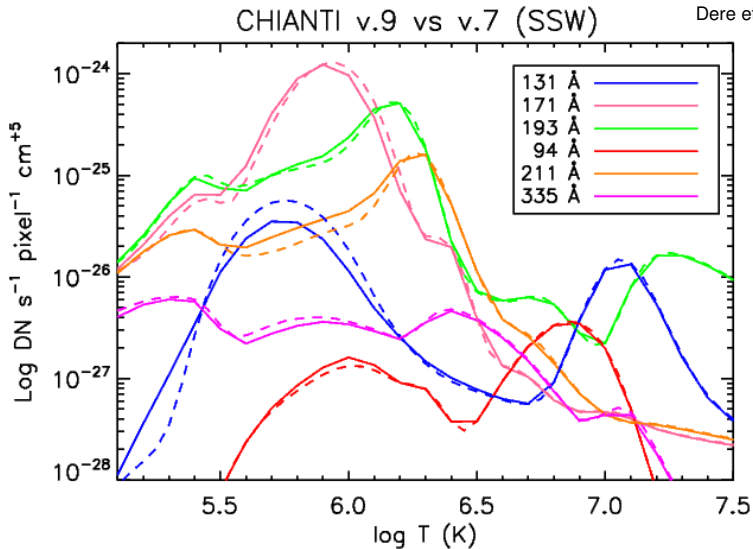
Luciano Rodriguez

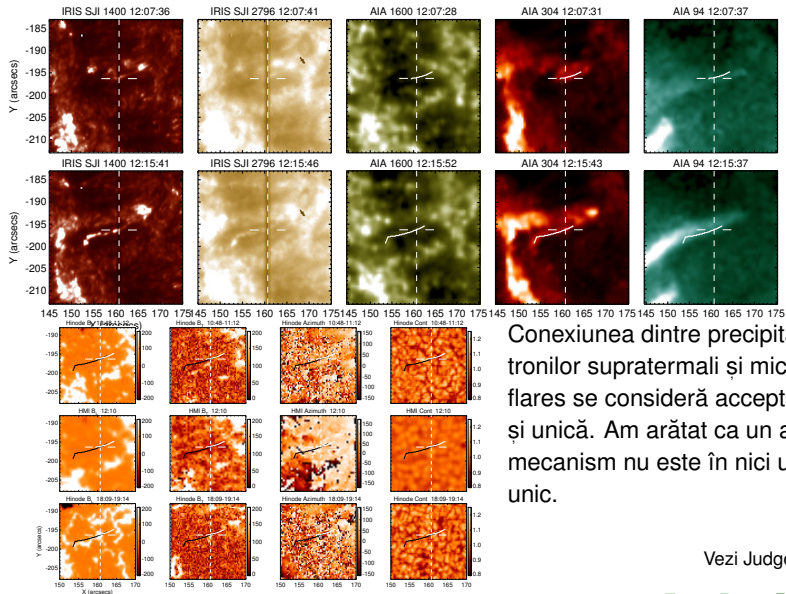
Mircea Rusu

Dan Seaton

Ovidiu Teșileanu

Ovidiu Văduvescu

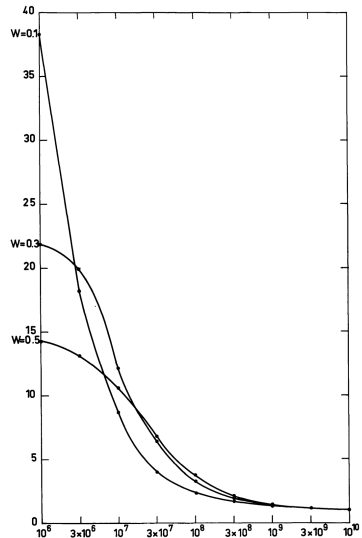




Conexiunea dintre precipitarea electronilor supra-termali și mici nano-erupțiile se consideră acceptată ca și unică. Am arătat ca un astfel de mecanism nu este în nici un caz unic.

Vezi Judge et. al, 2017

- A. Diferențele de densitate din structuri suprapuse vor influența semnalul Stokes.
- B. Metoda standard de determinare a densităților folosind rația dintre Fe XIII 1074.7/1079.8 nm este problematică și nu se poate aplica direct.
Rația liniilor de Fe XIII se poate aplica doar într-un regim determinat de densități ce nu acoperă complet plaja de plasmă coronală.
 $N_e \approx 5 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-3}$.
(Flower & Pineau des Forets, 1973)
Alte calcule similare au setat plaja de aplicabilitate la
 $N_e \approx 1 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.
(Chevalier & Lambert, 1969)



Flower & Pineau des Forets (1973)

